

**Попенко В.Й.**

*старший науковий співробітник,*

*Науково-виробнича корпорація «Київський інститут автоматики»*

### ЧАСТОТА ЕЛЕКТРОНА

Збільшення довжини хвилі розсіяного випромінювання  $\Delta \lambda$  в експерименті Комптона [2], по розсіюванню рентгенівського випромінювання електронами дорівнює твору функції кута розсіяння  $f(\theta)$  на константу  $\Lambda$ , названою Комптонівською довжиною хвилі електрона

$$\lambda = \lambda' - \lambda = 2 \sin^2 0.5\theta \cdot \Lambda = f(\theta) \cdot \Lambda.$$

Величина константи [3] дорівнює відношенню постійною Планка  $h$  до маси електрона  $m_0$  і швидкості світла  $c$

$$\Lambda = \frac{h}{m_0 c} = 2,42621 \cdot 10^{-10} \text{ см.} \quad (1)$$

Багато залежностей, виражених через Комптонівську довжину хвилі більше адекватні їх фізичному сенсу, чим в іншій формі запису [4].

Потенційна енергія двох електронів на відстані Комптонівської довжині хвилі електрона пропорційна власній енергії електрона

$$W_{e,e}(\Lambda) = \frac{e^2}{\Lambda} = \frac{e^2 m_0 c}{h} = \frac{e^2}{hc} m_0 c^2 = \frac{e^2}{hc} W_0. \quad (2)$$

Коефіцієнтом їх пропорційності  $\epsilon$ , ділена на  $2\pi$ , константа  $\alpha$ , що називається постійна тонкої структури

$$\frac{W_{e,e}(\Lambda)}{W_0} = \frac{\alpha}{2\pi}, \text{ где } \alpha = 2\pi \frac{e^2}{hc} = \frac{e^2}{hc}, \hbar = \frac{h}{2\pi}. \quad (3)$$

Відстань між електроном і ядром в основному стані атома водню  $a_0$  рівна Комптонівській довжині хвилі електрона, що ділиться на  $2\pi \alpha$

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{m_0 e^2} = \frac{\Lambda}{2\pi \alpha}. \quad (4)$$

Класичний радіус електрона  $r_0$  дорівнює Комптонівській довжині хвилі електрона с коефіцієнтом  $\alpha / 2\pi$

$$r_0 = \frac{e^2}{m_0 c^2} = \frac{\alpha}{2\pi} \Lambda. \quad (5)$$

Ефективний переріз розсіяння електроном енергії електромагнітної хвилі дорівнює квадрату Комптонівської довжини хвилі з коефіцієнтом  $2\alpha^2/3 \pi$

$$\sigma_e = \frac{8\pi}{3} \left( \frac{e^2}{m_0 c^2} \right)^2 = \frac{2\alpha^2}{3\pi} (\Lambda)^2. \quad (6)$$

Чисельне значення магнітного моменту електрона рівне, діленому на  $4\pi$ , твору заряду електрона і Комптонівської довжини хвилі

$$\mu_e = \frac{eh}{4\pi m_0 c} = \frac{e\Lambda}{4\pi}. \quad (7)$$

Чисельне значення власного моменту кількості руху електрона, дорівнює, діленому на  $4\pi$ , твору маси електрона, швидкості світла і Комптонівської довжини хвилі електрона

$$p_s = \frac{h}{4\pi} = m_0 c \frac{\Lambda}{4\pi}. \quad (8)$$

Енергія спокою електрона дорівнює відношенню квадрата заряду до Комптонівської довжини хвилі електрона з коефіцієнтом  $2\pi/\alpha$

$$W_0 = m_0 c^2 = \frac{e^2}{r_0} = \frac{2\pi}{\alpha} \frac{e^2}{\Lambda}. \quad (9)$$

Енергія іонізації атома водню дорівнює відношенню квадрата заряду до Комптонівської довжини хвилі електрона з коефіцієнтом  $\pi\alpha$

$$W_{H(\infty)} = 0,5 \alpha^2 m_0 c^2 = \pi\alpha \frac{e^2}{\Lambda}. \quad (10)$$

Постійна Рідберга – величина пропорційна зворотній довжині хвилі випромінювання атома  $R \propto 1/\lambda$ , дорівнює половині квадрата постійної тонкої структури, що ділиться на Комптонівську довжину хвилі електрона

$$R = \frac{\alpha}{4\pi a_0} = \frac{0,5\alpha^2}{\Lambda}. \quad (11)$$

Із залежностей (3) ÷ (11) можна зробити висновок, що константа Комптонівська довжина хвилі електрона є характерною величиною відстані в атомній фізиці, а постійна тонкої структури, є безрозмірним коефіцієнтом що характеризує взаємодію елементарних зарядів, що відповідає цій відстані.

У фізиці мікросвіту відстань іноді задається, як шлях прохідний світлом за певний інтервал часу. Можна вважати, що для електрона існує характерний інтервал часу  $T$  такий, що твір його на швидкість світла рівно Комптонівській довжині хвилі електрона

$$T \cdot c = \Lambda. \quad (12)$$

Можливо, в цьому і полягає фізичний сенс константи Комптонівська довжина хвилі електрона.

Електрон з позитроном анігілюють з випромінюванням двох гамма – фотонів  $e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$ , енергія яких дорівнює  $2h\nu$ . Згідно із законом збереження, енергія фотонів дорівнює сумарній енергії спокою частинок  $2m_0c^2$ .

З рівності енергії спокою часток і енергії гамма – фотонів, що випускаються в результаті анігіляції  $2h\nu = 2m_0c^2$  можна визначити частоту гамма – фотонів

$$\nu_\gamma = \frac{m_0c^2}{h}. \quad (13)$$

Довжина хвилі гамма – фотонів  $\lambda_\gamma$ , анігіляції електрона з позитроном дорівнює Комптонівській довжині хвилі електрона  $\Lambda$

$$\lambda_\gamma = \Lambda = \frac{h}{m_0c}. \quad (14)$$

Цей факт був перевірений експериментально з великою точністю [5].

Частота гамма – фотонів (13), дорівнює відношенню швидкості світла до довжини хвилі

$$\omega_\gamma = 2\pi \frac{c}{\lambda_\gamma}.$$

З рівності довжини хвилі гамма – фотонів  $\lambda_\gamma$  Комптонівській довжині хвилі електрона  $\Lambda$ , витікає, що частота гамма – фотонів дорівнює частоті  $\Omega$ , яка, згідно з класичною електродинамікою, повинна відповідати Комптонівській довжині хвилі електрона як відношення швидкості світла  $c$  до довжини хвилі  $\Lambda$

$$\omega_\gamma = \Omega = 2\pi \frac{c}{\Lambda}.$$

Довжина хвилі  $\lambda$ , як характеристика хвильового процесу, у електродинаміці пов'язана з іншою його характеристикою частотою  $\nu$  співвідношенням

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = 2\pi \frac{c}{\omega}.$$

Тому немає ніяких причин, що не дозволяють записати Комптонівську довжину хвилі електрона, як класичне відношення швидкості світла  $c$  і частоти  $\Omega$ , відповідній Комптонівській довжині хвилі електрона

$$\Lambda = 2\pi \frac{c}{\Omega}. \quad (15)$$

Частота  $\Omega$ , що відповідає Комптонівській довжині електрона, пов'язана з характерним для електрона інтервалом часу (14) співвідношенням періоду коливань  $T$  і частоти  $\Omega$

$$T = \frac{2\pi}{\Omega}.$$

Частоту  $\Omega$ , рівну відношенню швидкості світла до Комптонівської довжини хвилі електрона можна поіменувати Комптонівською частотою електрона,

$$\Omega = 2\pi \frac{c}{\Lambda}, \quad (16)$$

але, оскільки, Комптон не використав цю можливість, називатимемо її просто частотою електрона.

У Комптонівській довжині хвилі (2), що послужила основою для утворення частоти електрона, маса спокою електрона  $m_o$ , частоту електрона, що покоїться, слід також писати с нульовим індексом

$$\Omega_o = 2\pi \frac{c}{\Lambda} = 2\pi \frac{m_o c^2}{h} = \frac{m_o c^2}{\hbar}. \quad (17)$$

Формулу частоти електрона утворюють світові константи, такі як маса електрона  $m_o$ , швидкість світла  $c$ , і постійна Планка  $\hbar$ , слід вважати, що і сама частота електрона  $\Omega_o$  є константою.

З залежності (17) постійну Планка  $\hbar$  можливо записати як відношення енергії спокою електрона  $m_o c^2$  до частоти електрона  $\Omega_o$

$$h = 2\pi \frac{m_o c^2}{\Omega_o} = \frac{m_o c^2}{\Omega_o}. \quad (18)$$

Маса електрона, що рухається, згідно спеціальної теорії відносності залежить від швидкості його руху [6]

$$m = m_o \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-0,5}$$

Слід вважати, що частота електрона, що рухається, у формулу, якої входить його маса, повинна також залежати від швидкості руху електрона

$$\Omega = 2\pi \frac{m c^2}{h} = 2\pi \frac{m_o c^2}{h} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-0,5} = \Omega_o \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-0,5}. \quad (19)$$

Для швидкості,  $v < c$ , вираження в дужках формули (19) можна розкласти по мірах  $v^2/c^2$ . Зберігаючи перші члени, частоту електрона можна записати як суму частоти спокою електрона  $\Omega_o$  і додатку, залежного від квадрата швидкості електрона, тобто пропорційного кінетичній енергії електрона

$$\Omega = \Omega_o \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-0,5} \approx \Omega_o + 0,5 \frac{v^2}{c^2} \Omega_o. \quad (20)$$

Залежність спостережуваної частоти електронів від їх кінетичної енергії характерна для усіх випромінювань атомів. Деякі приклади, що підтверджують це твердження, наведені нижче.

Гранична, або максимальна частота гальмівного рентгенівського випромінювання електрона [7], що придбав в потенціалі  $U$  кінетичну енергію  $0.5m_0v^2 = eU$ , дорівнює відношенню його енергії до постійної Планка

$$\omega_{\text{ГР}} = 2\pi \nu_{\text{ГР}} = \frac{0.5m_0v^2}{\hbar}.$$

При підстановці константи  $\hbar$  з (18) гранична частота придбає інший смисловий відтінок, стає рівній частоті електрона, з коефіцієнтом, у вигляді відношення кінетичної енергії випромінюючого електрона до його енергії спокою

$$\omega_{\text{ГР}} = \frac{0.5m_0v^2}{\hbar} = \Omega_0 \frac{0.5m_0v^2}{m_0c^2} = \Omega_0 \frac{W_{\text{кин.}}}{W_0}. \quad (21)$$

Енергія фотонів, що випромінюються електронами збуджених атомів, рівна твору частоти фотонів  $\omega$  і постійної Планка

$$W = h\nu = \hbar\omega$$

При підстановці  $\hbar$  з (18) їх енергія стає рівній енергії спокою електрона, помноженої на відношення частоти фотона до частоти електрона

$$W = W_0 \frac{\omega}{\Omega_0} \quad (22)$$

Спектр випромінювання атома водню в хвилевих числах  $1/\lambda$ , відповідає формулі Бальмера – Рідберга [6]

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

Після множення на  $2\pi c$ , підстановки  $R$ , і, враховуючи, що, згідно (17)  $2\pi \frac{c}{\Lambda} = \Omega_0$ , отримаємо формулу спектру частот атома водню

$$\omega = \frac{2\pi c}{\lambda} = 2\pi c R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = 0,5 \frac{2\pi c}{\Lambda} \alpha^2 \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = 0,5 \Omega_0 \left( \frac{\alpha^2}{m^2} - \frac{\alpha^2}{n^2} \right). \quad (23)$$

Спектр атома водню (23) має залежність від частоти електрона  $\Omega_0$ .

Частота електрона пов'язана з хвилевими властивостями електрона.

Частота  $\omega$  хвилевій функції електрона в уявленні Клейна-Гордона [8]

$$\psi(t, x) = A \exp i(\omega t - kx) = A \exp i\left(\frac{mc^2}{\hbar} t - \frac{mv}{\hbar} x\right), \quad (24)$$

рівна відношенню повної енергії електрона до постійної Планка

$$\omega = \frac{mc^2}{\hbar}.$$

При підстановці  $\hbar$  з (18) стає рівній частоті електрона  $\Omega_0$  з коефіцієнтом релятивістського зростання енергії – маси [6]

$$\omega = \frac{mc^2}{\hbar} = \frac{m_0c^2}{\hbar} \frac{m}{m_0} = \Omega_0 \frac{m}{m_0} = \Omega_0 \left(1 - 0,5 \frac{v^2}{c^2}\right)^{-0,5}. \quad (25)$$

Хвилева функція електрона, в уявленні Клейна-Гордона, при підстановці (25) отримує явну залежність від частоти електрона  $\Omega_0$

$$\psi(t, x) = A \exp i(\Omega t - kx) = A \exp i\left(t - \frac{v}{c} x\right) \frac{\Omega_0}{(1 - 0,5 \frac{v^2}{c^2})^{0,5}}.$$

Судячи з наведених прикладів можна вважати, що частота електрона має певний фізичний сенс, розкриття якого може дати нові уявлення про суть електрона і його електричного поля.

Авторові відомі два мало примітні повідомлення, освітлюючи цю характеристику електрона. Якщо тема, зачеплена в доповіді, викличе інтерес, автор готовий поділитися інформацією, що мається в його розпорядженні.

### Список використаних джерел:

1. Де Бройль Л., Хвилі і кванти, УФН 86, 371 (1965).
2. Compton A. H., The Spectrum of Scattered X – Rays, Phys. Rev. 22, 409 (1923).
3. Compton A. H., A Quantum Theory of the Scattering of X – Rays by Light Elements, Phys. Rev. 21, 483 (1923).
5. Klemperer O., On the Annihilation Radiation of the Positron, Proc. Camber. Phil. Soc. 30, 347 (1934).
7. Шпольский Э. В., Атомна фізика, т. 1, Введення в атомну фізику, видавництво «Наука» 575 (1974).
8. Крауфорд Ф., Хвилі, видавництво «Наука» 528 (1974).

### Попенко В.Й.

*старший науковий співробітник,*

*Науково-виробнича корпорація «Київський інститут автоматики»*

## ДИНАМІЧНЕ ПОЛЕ ЕЛЕКТРОНА

Частота е.м. випромінювання  $\omega_\gamma = \Omega_0$  [1] при анігіляції електрона з позитроном [2] може пояснюватися частотою механічних коливань зарядів, в процесі анігіляції, хоча величина її  $\nu = \Omega_0/2\pi = 1,23564 \cdot 10^{20}$  сек<sup>-1</sup>, непомірно висока для механічних коливань анігілюючих часток. Іншим поясненням може бути те, що частота  $\Omega_0$  є внутрішньою властивістю самих часток, тобто заряди їх динамічні і частота фотонів  $\omega_\gamma$ , що випускаються ними, в процесі анігіляції дорівнює частоті  $\Omega_0$  їх власних динамічних полів.

Деякі відомі фізики, зокрема, Макс Борн, вважали, що енергія і маса електрона мають електромагнітну природу, тобто електрон є повністю електромагнітним об'єктом. Враховуючи це і факти анігіляції, можна припустити, що заряд електрона і його електричне поле, магнітний момент і магнітне поле, відповідне йому, змінюються в часі з частотою електрона  $\Omega_0$ .

Анігіляція, в цьому випадку, є переходом стоячих хвиль електромагнітних коливань динамічних полів сферичної конфігурації електрона і позитрона, частоти  $\Omega_0$ , в е.м хвилі, що біжать,  $\gamma$  – фотонів тієї ж частоти  $e^- + e^+ \rightarrow \gamma_1 + \gamma_2$ .

Фото народження, перехід е.м. хвиль, що біжать,  $\gamma$ -фотонів частоти  $\omega_\gamma$  при їх накладенні в стоячі хвилі динамічних полів, частоти  $\Omega_0 = \omega_\gamma$  сферичної конфігурації електрона і позитрона  $\gamma_1 + \gamma_2 \rightarrow e^- + e^+$ .

З цих міркувань виходить, що заряд електрона і його поле гармонійно залежать від часу, здійснюючи коливання з частотою  $\Omega_0$  [2]

$$q_e = -e\psi(t) = -e \exp i(\Omega_0 t + \varphi_0); \mathbf{E} = \mathbf{E}_r \psi(t) = \mathbf{r} \frac{-e}{r^3} \exp i(\Omega_0 t + \varphi_0). \quad (1)$$

Знак динамічного заряду визначає початкова фаза  $\varphi_0$